

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
19. Juli 2001 (19.07.2001)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 01/52373 A2

(51) Internationale Patentklassifikation: **H01S 5/00**

[DE/DE]; Drosselstrasse 34 C, 85521 Ottobrunn (DE).
EGOROV, Anton Yurevitch [RU/RU]; Baskov 19, App.
17, St.Petersburg, 191014 (RU).

(21) Internationales Aktenzeichen: **PCT/DE00/04317**

(22) Internationales Anmeldedatum:
4. Dezember 2000 (04.12.2000)

(74) Anwalt: **VIERING, JENTSCHURA & PARTNER;**
Postfach 22 14 43, 80504 München (DE).

(25) Einreichungssprache: **Deutsch**

(81) Bestimmungsstaaten (national): JP, KR, US.

(26) Veröffentlichungssprache: **Deutsch**

(84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT,
BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC,
NL, PT, SE, TR).

(30) Angaben zur Priorität:
100 01 122.5 13. Januar 2000 (13.01.2000) **DE**

Veröffentlicht:
— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu
veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

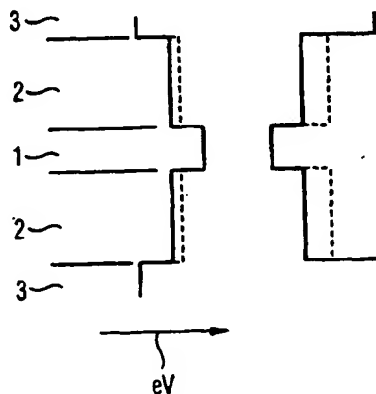
(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von
US): **INFINEON TECHNOLOGIES AG** [DE/DE]; St.-
Martin-Strasse 53, 81669 München (DE).

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes, und der anderen
Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on
Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe
der PCT-Gazette verwiesen.

(72) Erfinder; und
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **RIECHERT, Henning**

(54) Title: **SEMICONDUCTOR LASER STRUCTURE**

(54) Bezeichnung: **HALBLEITERLASERSTRUKTUR**



WO 01/52373 A2
(57) Abstract: The active layer (1) and the barrier layers (2) contain a group III component, a group V component and nitrogen, whereby the active layer is a quaternary material and the barrier layers are ternary materials, or, in order to match the lattice properties of the active layer to the barrier layers, the nitrogen content in the barrier layers is higher. The active layer is preferably InGaAsN, the barrier layers are InGaAsN with higher nitrogen content or GaAsN. Superlattices may exist in the barrier layers, for example, series of thin layers of In, Ga_{1-x}As, N_{1-y}, with varying factors x and y, where, in particular, x = 0 and y = 1.

(57) Zusammenfassung: In der aktiven Schicht (1) und in den Barrierschichten (2) sind eine III-Komponente, eine V-Komponente und N enthalten, wobei die aktive Schicht quaternäres Material und die Barrierschichten ternäres Material sind oder zur Gitteranpassung der aktiven Schicht an die Barrierschichten der Stickstoffanteil in den Barrierschichten höher ist. Die aktive Schicht ist vorzugsweise InGaAsN, die Barrierschichten sind InGaAsN mit höherem Stickstoffanteil oder GaAsN. In den Barrierschichten können Übergitter (superlattices) vorhanden sein, z.B. Folgen dünner Schichten aus In, Ga_{1-x}As, N_{1-y} mit unterschiedlichen Anteilen x und y, wobei insbesondere x = 0 und y = 1 sein kann.

Beschreibung**Halbleiterlaserstruktur**

- 5 Die vorliegende Erfindung betrifft eine Halbleiter-Schicht-
struktur, die für die Herstellung von Laserdioden geeignet
ist.

Für Wellenlängen der Strahlungsemission von ca. 1,3 μm wird
10 üblicherweise das Material InGaAsP, vorzugsweise auf InP-
Substraten, verwendet. InGaAs als aktive Schicht in Hetero-
strukturen auf GaAs ist für diesen Wellenlängenbereich nicht
geeignet, da die Bandlücke (Energiebandabstand) in homogenen
InGaAs-Schichten einen so hohen Anteil an Indium erfordern
15 würde, dass die Schicht wegen struktureller Relaxation für
Laser unbrauchbar würde. Es wurde jedoch nachgewiesen, dass
Heterostrukturen auf GaAs prinzipiell ebenso für längerwelli-
ge Emission eingesetzt werden können, wenn das emittierende
Material ein Potentialtopf (quantum well) aus InGaAsN ist,
20 wobei als Barrierschichten über und unter der für Strah-
lungserzeugung vorgesehenen aktiven Schicht zumeist GaAs-
Schichten verwendet werden (s. z.B. M. Kondow et al.:
"GaInNAs: A Novel Material for Long-Wavelength Semiconductor
Lasers" in IEEE J. Select. Topics Quantum Electron. 3, 719 -
25 730 (1997), M. Kondow et al.: "Gas-source MBE of GaInNAs for
long-wavelength laser diodes" in J. Crystal Growth 188, 255 -
259 (1998) und K. Nakahara et al.: "1.3- μm Continuous-Wave
Lasing Operation in GaInNAs Quantum-Well Lasers" in IEEE
Photon. Technol. Lett. 10, 487 - 488 (1998)). In der Veröf-
30 fentlichung von T. Miyamoto et al.: "A Novel GaInNAs-GaAs
Quantum-Well Structure for Long-Wavelength Semiconductor
Lasers" in IEEE Photonics Technology Letters 9, 1448-1450
(1997) ist eine Halbleiterlaserstruktur beschrieben, bei der
eine als aktive Schicht vorgesehene QW-Schicht (quantum well)
35 aus $\text{Ga}_{0,6}\text{In}_{0,4}\text{N}_{0,01}\text{As}_{0,99}$ zwischen Schichten aus
 $\text{Ga}_{0,97}\text{In}_{0,03}\text{N}_{0,01}\text{As}_{0,99}$ angeordnet ist. Aus EP-A-0.896.406
ist eine Halbleiterlaserstruktur mit einer aktiven Schicht

aus $\text{In}_x \text{N}_x \text{As}_y \text{P}_{1-x-y}$ ($0 < x < 1$ und $0 \leq y < 1$) zwischen Schichten aus $\text{Ga N}_{x'} \text{As}_{y'} \text{P}_{1-x'-y'}$ ($0 < x' < 1$ und $0 \leq y' < 1$) bekannt. Eine Halbleiterlaserstruktur mit einer aktiven Schicht aus $\text{In}_y \text{Ga}_{1-y} \text{As}_{1-w-v} \text{Sb}_w \text{N}_v$ ($v \leq 0,0095$ und $w+y \geq 0,33$) zwischen

5 Schichten aus $\text{Ga As}_{1-z} \text{P}_z$ ($0 \leq z \leq 1$) bzw. $\text{In}_y \text{Ga}_{1-y} \text{As}$ ($0,53 \leq y \leq 1$) ist aus US-A-5.719.894 und US-A-5.825.796 bekannt.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine zur Herstellung von Laserdioden geeignete Halbleiter-Schichtstruktur

10 anzugeben, die eine effiziente Strahlungsemission bei Wellenlängen von $1,3 \mu\text{m}$ und darüber ermöglicht.

Diese Aufgabe wird mit der Halbleiterlaserstruktur mit den

15 Merkmalen des Anspruchs 1, 4 bzw. 7 gelöst. Ausgestaltungen ergeben sich aus den jeweiligen abhängigen Ansprüchen.

Die erfindungsgemäße Halbleiterlaserstruktur basiert auf der Erkenntnis, dass die Strahlungsemission in einem Wellenlängenbereich von $1,3 \mu\text{m}$ und darüber wesentlich verbessert werden kann, wenn die Eigenschaften der Barrierschichten, die die für Strahlungserzeugung vorgesehene aktive Schicht begrenzen, im Hinblick auf die in der Heterostruktur auftretenden Verspannungen und Versetzungen genauer eingestellt werden.

20 In der für Strahlungserzeugung vorgesehenen Schicht und in den Barrierschichten sind dazu Materialzusammensetzungen vorhanden, die eine III-Komponente, eine V-Komponente und N enthalten (III und V entsprechend den Gruppen des Periodensystems der Elemente). Mit dem Stickstoffanteil in der aktiven Schicht wird die Emissionswellenlänge eingestellt. In einer Ausführungsform ist die aktive Schicht quaternäres Material mit einem Anteil einer weiteren III-Komponente, und die Barrierschichten sind ternäres Material; in einer weiteren

25 Ausführungsform sind die Schichten aus denselben chemischen Elementen zusammengesetzt und unterscheiden sich nur in den prozentualen Anteilen dieser Elemente (z.B. jeweils quaternäres Material aus denselben Elementen mit unterschiedlichen

30

Atomanteilen), wobei aber der Stickstoffanteil in den Barriereschichten höher ist als in der aktiven Schicht. Im Fall eines bevorzugten Ausführungsbeispiels im Materialsystem von GaAs sind sowohl in der aktiven Schicht als auch in den Barriereschichten Ga, As und N vorhanden. Die aktive Schicht ist dann vorzugsweise InGaAsN, die Barriereschichten sind InGaAsN mit höherem Stickstoffanteil oder GaAsN.

Eine andere Ausführungsform umfasst Übergitter (superlattices) in den Barriereschichten, die durch eine Folge dünner Schichten gebildet sind, die jeweils eine III-Komponente, eine V-Komponente und N in unterschiedlichen prozentualen Anteilen enthalten. Im Materialsystem von GaAs sind die Schichten, die das Übergitter bilden, z.B. $\text{In}_x \text{Ga}_{1-x} \text{As}_y \text{N}_{1-y}$ mit unterschiedlichen Anteilen x und y, wobei insbesondere $x = 0$ und $y = 1$ sein kann. Die Zusammensetzungen der einzelnen Schichten sind aber so gewählt, dass sich insgesamt in dem Übergitter der gewünschte Anteil an Stickstoff bzw. Indium ergibt.

Erfindungsgemäß lässt sich einerseits eine ausreichende Gitteranpassung der aufgewachsenen Schichten erreichen und andererseits ein ausreichend großer Sprung in der Energiebandlücke, wodurch ein Confinement bewirkt wird. Das Barrierenmaterial muss nicht notwendigerweise die gesamte Schichtdicke des Bauelementes über und unter der aktiven Schicht einnehmen (bei einem VCSEL z.B. den Bereich zwischen den als Resonator-endspiegel fungierenden DBR-Gittern). In der praktischen Ausführung genügen Barriereschichten einer Dicke von typisch 50 nm; außerhalb kann beispielsweise als Mantelschicht GaAs sein. Es kann auch eine mehrstufige Verringerung der Energiebandlücke in den Barriereschichten vorteilhaft sein.

Ein Beispiel der erfindungsgemäßen Heterostruktur wird im Folgenden anhand der Figuren beschrieben.

Figur 1 zeigt einen Schichtaufbau im Querschnitt.

Figur 2 zeigt ein Energiediagramm für den Schichtaufbau der **Figur 1**.

Bei einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung ist die aktive Schicht 1 (siehe **Figur 1**) aus InGaAsN, und die angrenzenden Barrierschichten 2 sind aus Halbleitermaterial derselben Komponenten, aber mit geringerem Indiumgehalt und höherem Stickstoffgehalt. Der Anteil an Indium in den Barrierschichten kann auch vollständig reduziert sein, so dass die Barrierschichten 2 GaAsN sind. In **Figur 1** ist als Beispiel die Struktur einer oberflächenemittierenden Laserdiode mit vertikalem Resonator (VCSEL) dargestellt. Die erforderliche Laserresonanz wird hier durch obere und untere DBR-Gitter 3 (distributed Bragg reflection) erzeugt. Die Anordnung befindet sich vorzugsweise auf einem Substrat 4. Weitere Einzelheiten der Laserdiode, die wie die Anschlusskontakte an sich bekannt sind, wurden zur Verdeutlichung der erfindungswesentlichen Teile weggelassen.

Figur 2 zeigt ein Diagramm, in dem auf der linken Seite der Verlauf der oberen Kante des Valenzbandes und auf der rechten Seite der Verlauf der unteren Kante des Leitungsbandes für den in **Figur 1** dargestellten Schichtaufbau gezeichnet ist. Die für die aktive Schicht 1, die Barrierschichten 2 und die angrenzenden Gitter 3 geltenden Bereiche sind mit den entsprechenden Ziffern bezeichnet. Das Diagramm ist nicht im Maßstab gezeichnet, zeigt aber qualitativ richtig die typischen Relationen der Energiebandabstände in den einzelnen Schichten. Es ist dabei angenommen, dass die aktive Schicht 1 InGaAsN ist, und dass die Barrierschichten 2 ebenfalls InGaAsN sind, aber mit einem im Vergleich zu dem Material der aktiven Schicht 1 verminderten Indiumgehalt. In **Figur 2** sind gestrichelt eingezeichnet die entsprechenden Kurvenverläufe für den Fall, dass die Barrierschichten 2 GaAs sind. Es ist erkennbar, dass bei Verwendung von InGaAsN für die Barrierschichten 2 ein gegenüber der Verwendung von GaAs verminderter Energiebandabstand in den Barrierschichten resultiert.

Dieser reduzierte Energiebandabstand ergibt sich wie in der Figur 2 erkennbar daraus, dass in den Barrierschichten 2 die obere Kante des Valenzbandes geringer abgesenkt ist als die untere Kante des Leitungsbandes.

5

Die aktive Schicht ist bei einer Anordnung der Halbleiterlaserstruktur auf GaAs wegen der gegenüber GaAs kleineren Gitterkonstanten von InGaAsN üblicherweise stark kompressiv verspannt; diese Verspannung könnte in der Schicht selbst nur dadurch beseitigt werden, dass der Stickstoffanteil in dieser Schicht auf ca. 1/3 des Indiumanteils erhöht würde, was sich aber wegen der schlechten Ergebnisse der optischen Qualität des Bauelementes verbietet. Indem in den Barrierschichten erfindungsgemäß GaAsN verwendet oder ein höherer Stickstoffanteil als in der aktiven Schicht gewählt wird, werden die Barrierschichten entgegengesetzt zu der aktiven Schicht verspannt.

In dem beschriebenen Materialsystem können die als Reflektoren vorgesehenen DBR-Gitter entsprechend herkömmlichen Schichtstrukturen im Materialsystem von AlGaAs/AlAs hergestellt sein. Ebenso ist es möglich, Mantelschichten, Deckschichten oder dergleichen aus AlGaAs vorzusehen. Wesentlich für die erfindungsgemäße Schichtstruktur ist, dass sowohl die aktive Schicht 1 also auch die daran angrenzenden Barrierschichten 2 Stickstoff als Materialkomponente enthalten.

Eine weitere Ausgestaltung der Halbleiterlaserstruktur weist Übergitter (superlattices) in den Barrierschichten auf. Die mittlere Gitterkonstante des Übergitters ist vorzugsweise kleiner oder gleich der des Substratmaterials, damit eine zusätzliche Verspannung der Schichtstruktur vermieden wird. Die mittlere Energiebandlücke des Übergitters liegt vorzugsweise zwischen derjenigen der aktiven Schicht, die mit den Barrieren den Potentialtopf bildet, und einer jeweils auf der davon abgewandten Seite an die Barrierschicht anschließenden Mantelschicht. Dabei ist darauf zu achten, dass für alle La-

- dungsträger, Elektronen und Löcher, eine energetische Barriere zur aktiven Schicht vorhanden ist. Geeignete Übergitter lassen sich, und zwar insbesondere auf GaAs als Substratmaterial, z.B. durch Folgen von Schichten aus $\text{In}_x \text{Ga}_{1-x} \text{As}_y \text{N}_{1-y}$ oder aus $\text{In}_x \text{Ga}_{1-x} \text{As}_y \text{P}_{1-y}$ mit unterschiedlichen prozentualen Atomanteilen x und y oder durch Folgen von Schichten aus InGaAsN und AlGaAsN, GaAsN oder GaAs bilden. Weitere Möglichkeiten sind Folgen aus InGaAs und GaAsN, GaAsP oder InGaP.
- 10 Als Vorteile der erfindungsgemäßen Schichtstruktur sind insbesondere die folgenden zu nennen. Die Verspannung des Materials der Barriereschichten 2 kann so eingestellt werden, dass sie die in der Regel stark kompressive Verspannung des Potentialtopfes, der durch die aktive Schicht zwischen den
- 15 Barriereschichten gebildet wird, zumindest teilweise kompensiert. Dadurch werden höhere Verspannungen des Potentialtopfes (und damit größere Schichtdicken oder höhere Indiumgehalte) möglich, ohne dass strukturelle Relaxation eintritt. Das ermöglicht längerwellige Strahlungsemission als mit herkömmlichen GaAs-Barrieren. Durch die kleinere Energiebandlücke
- 20 des erfindungsgemäßen Barrierematerials (im Vergleich zu GaAs-Barrieren) wird bei ansonsten gleich strukturiertem Potentialtopf der optische Übergang im Potentialtopf ins längerwellige verschoben, womit ebenfalls eine längerwellige
- 25 Strahlungsemission erreicht wird. Durch den Einbau von Stickstoff in das Material der Barriereschichten wird das Verhältnis der Sprünge der Energiebandkanten an der Grenze zum Potentialtopf (Schichtgrenze zwischen aktiver Schicht 1 und Barriereschichten 2) mittels geeigneter Wahl des prozentualen
- 30 Anteils des Stickstoffes beeinflussbar. Während der Energiebandabstand in der aktiven Schicht 1 gleich bleibt, wird durch Absenken der oberen Kante des Valenzbandes im Material der Barriereschichten die Barrierewirkung (confinement) vergrößert. Das erhöht den energetischen Einschluss von Löchern
- 35 und damit die gesamte Rate an Elektron-Loch-Rekombinationen im Potentialtopf, was die Effizienz eines mit dieser Heterostruktur versehenen Lasers erhöht. Durch die Wahl der Zusam-

mensetzungen mit einem höheren Stickstoffgehalt der Barriere-
schichten bzw. der Verwendung von ternärem Material in den
Barrierschichten und quaternärem Material in der aktiven
Schicht kann eine Verspannung der aktiven Schicht zumindest
5 teilweise derart kompensiert werden, dass auch bei großen
Wellenlängen im Bereich von 1,3 μm an aufwärts eine effizien-
te Strahlungsausbeute erreicht wird.

Patentansprüche

1. Halbleiterlaserstruktur mit einer für Strahlungserzeugung vorgesehenen aktiven Schicht (1) zwischen Barriereschichten (2),
5 bei der die aktive Schicht (1) und die Barriereschichten (2) jeweils ein Halbleitermaterial sind, das eine III-Komponente, eine V-Komponente und Stickstoff enthält,
bei der die Barriereschichten (2) ein Halbleitermaterial
10 sind, das einen größeren Energiebandabstand aufweist als das Halbleitermaterial der aktiven Schicht (1), und
bei der zur Gitteranpassung der aktiven Schicht (1) an die Barriereschichten (2) das Halbleitermaterial der Barriereschichten (2) einen höheren Anteil Stickstoff enthält als das
15 Halbleitermaterial der aktiven Schicht (1).

2. Halbleiterlaserstruktur gemäß Anspruch 1,
bei der die aktive Schicht (1) $\text{In}_x \text{Ga}_{1-x} \text{As}_y \text{N}_{1-y}$ ist und
bei der die Barriereschichten (2) $\text{In}_{x'} \text{Ga}_{1-x'} \text{As}_{y'} \text{N}_{1-y'}$ mit
20 $y' < y$, $\text{In}_{y'} \text{P}_{y'} \text{N}_{1-y'}$ mit $y' < y$, $\text{In}_{y'} \text{As}_{y'} \text{P}_{y'} \text{N}_{1-y'-y''}$ mit $y' + y'' < y$, oder $\text{Ga}_{y'} \text{As}_{y'} \text{N}_{1-y'}$ mit $y' < y$ sind.

3. Halbleiterlaserstruktur gemäß Anspruch 1,
bei der die aktive Schicht (1) GaAsSbN ist und
25 bei der die Barriereschichten (2) GaAsSbN oder GaAsN sind.

4. Halbleiterlaserstruktur mit einer für Strahlungserzeugung vorgesehenen aktiven Schicht (1) zwischen Barriereschichten (2),
30 bei der die aktive Schicht (1) und die Barriereschichten (2) jeweils ein Halbleitermaterial sind, das eine III-Komponente, eine V-Komponente und Stickstoff enthält,
bei der die Barriereschichten (2) ein Halbleitermaterial sind, das einen größeren Energiebandabstand aufweist als das
35 Halbleitermaterial der aktiven Schicht (1), und
bei der zur Gitteranpassung der aktiven Schicht (1) an die Barriereschichten (2) die aktive Schicht (1) quaternäres

Halbleitermaterial und die Barrierschichten (2) ternäres Halbleitermaterial sind.

- 5 5. Halbleiterlaserstruktur gemäß Anspruch 4,
bei der die aktive Schicht (1) InGaAsN ist und
bei der die Barrierschichten (2) InPN oder GaAsN sind.
- 10 6. Halbleiterlaserstruktur gemäß Anspruch 4,
bei der die aktive Schicht (1) GaAsSbN ist und
bei der die Barrierschichten (2) GaAsN sind.
- 15 7. Halbleiterlaserstruktur mit einer für Strahlungserzeugung
vorgesehenen aktiven Schicht (1) zwischen Barrierschichten
(2),
bei der die aktive Schicht (1) und die Barrierschichten (2)
jeweils ein Halbleitermaterial sind, das eine III-Komponente
und eine V-Komponente enthält,
bei der die Barrierschichten (2) ein Halbleitermaterial
sind, das einen größeren Energiebandabstand aufweist als das
20 Halbleitermaterial der aktiven Schicht (1), und
bei der zur Gitteranpassung der aktiven Schicht (1) an die
Barrierschichten (2) die Barrierschichten (2) Folgen aus
Schichten unterschiedlicher Zusammensetzung sind, die ein
Übergitter (superlattice) bilden.
25
8. Halbleiterlaserstruktur gemäß Anspruch 7,
bei der die Barrierschichten (2) Folgen von Schichten
aus $\text{In}_x \text{Ga}_{1-x} \text{As}_y \text{N}_{1-y}$ mit unterschiedlichen prozentualen
Atomanteilen x und y sind.
30
9. Halbleiterlaserstruktur gemäß Anspruch 7,
bei der die Barrierschichten (2) Folgen von Schichten
aus InGaAsN und AlGaAsN,
aus InGaAsN und GaAsN,
35 aus InGaAs und GaAsN oder
aus InGaAsN und GaAs sind.

10

10. Halbleiterlaserstruktur gemäß Anspruch 7,
bei der die Barrierschichten (2) Folgen von Schichten
aus $\text{In}_x \text{Ga}_{1-x} \text{As}_y \text{P}_{1-y}$ mit unterschiedlichen prozentualen
Atomanteilen x und y sind.

5

11. Halbleiterlaserstruktur gemäß Anspruch 10,
bei der die Barrierschichten (2) Folgen von Schichten
aus InGaAs und GaAsP oder
aus InGaAs und InGaP sind.

10

FIG 1

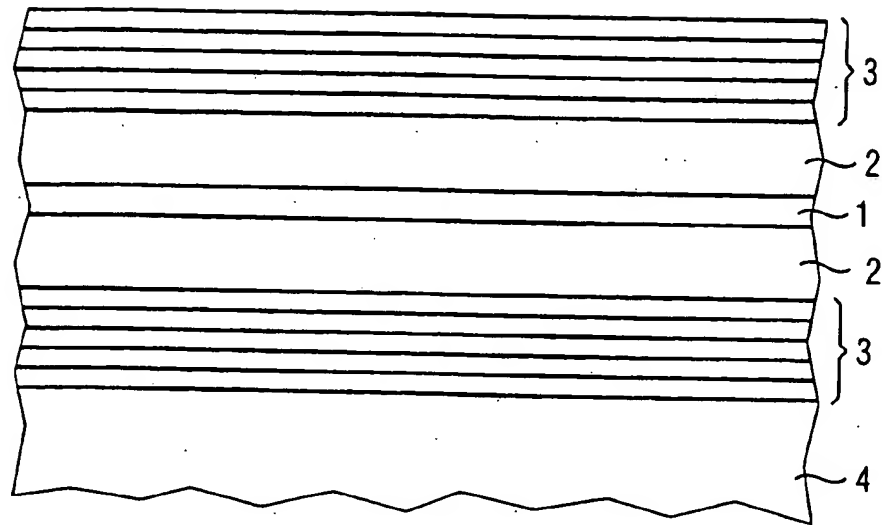


FIG 2

